

東大工学部土木教室 正員 最上 武雄

千葉工業大学土木教室 正員 清水 英治

1. 緒言

湿潤土を凍結する場合に生ずる諸現象のうち、過冷却現象と凍結土の容積変化および凍結前後の強度変化について、砂、ローム、粘土を用いて実験を行い考察を行った。

2. 実験装置および方法 凍結土の容積変化の測定は、飽和土と不飽和の場合で異った方法を用いている。含水量の非常に多い飽和土の凍結実験には、図-1に示すようなマグネット式攪拌装置を使用した。凍結容器中の試料(泥水)は攪拌しながら温度分布が成るべく均一になるようにして、且つ冷却中に土粒子の沈降が起らないように工夫している(凍結すれば試料中の回転マグネットは自然に止る)。冷却中の試料の容積変化の測定は不凍液を満したゴム風船を通して、マンローメーターで行い、温度測定はサーミスターを用いて行った。不飽和土の場合の測定は図-2に示す如く、詰込んだ試料の上部に水銀を入れ、凍結による容積変化はマンローメーターで測定した。図-1, 2の凍結容器を恒温槽に入れて凍結実験を行った。(恒温槽は -20°C まで下る。尚、試料は、すべて $2\text{Kg}/\text{cm}^2$ で再圧密したものを用いた。)

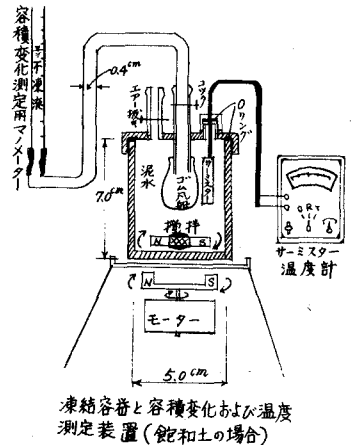


図-1

3. 過冷却現象についての考察

水が冷却される過程には図-3の(a), (b)に示す2通りがある。(a)図では過冷却現象がみられないが、(b)図では曲線番号2, 3, 4, 5を付した部分に明瞭に過冷却が現われている。この(b)のような過冷却現象が図-4に示す土の凍結過程曲線に見られる。この現象が如何なる

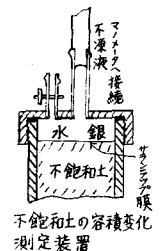
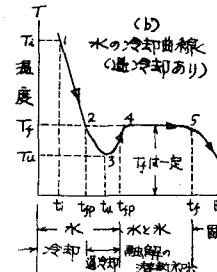
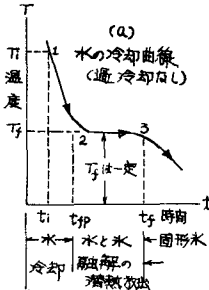


図-2

因子によって起るか明らかではないが、熱的平衡の問題と圧力が関係していると考えられる。熱的平衡の問題としては、①凍結に際し放出される潜熱を十分に吸収しきれないと試料内に部分的に温度差が出来て過冷却が起ると思われる。②冷却による熱伝導速度が潜熱の放出速度より早い場合に過冷却が起るのではないか。例えば図-4で、No.2のサーミスターのある試料の外側では、早く冷却されるための潜熱の放出が間に合わず過冷却が起る

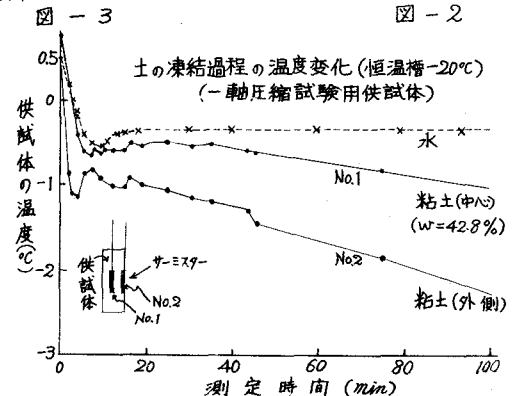


図-4

試料の中心にある Na1 では除々に冷却されるので過冷却があまり現われないと考えられる。次に圧力の問題であるが、凍結前の冷却水に圧力が加わると凍結温度が低下することが、Jumikis の文献に見られる。それによると 1 気圧の増加で凍結温度が -0°C から -0.0075°C に低下する。また J.M. Smith の表によれば -1°C の変化に約 110 kg/cm^2 の圧力を要する。

4. 凍結によぼす容積変化についての考察

水を冷却すると 0°C で凍結して、図-5 の実線のように、全容積が 142 cc のとき約 12.7 cc (約 9%) の体積膨張がある。その後、更に温度が下ると体積は微少ずつ減少する。図-5 からわかるように水、鉾和粘土水の場合は -6°C 位になると容積変化は少なくなる (不鉾和土のときは約 -13°C)。 $\frac{\Delta V}{V_w}$

凍結過程の温度と容積変化の関係

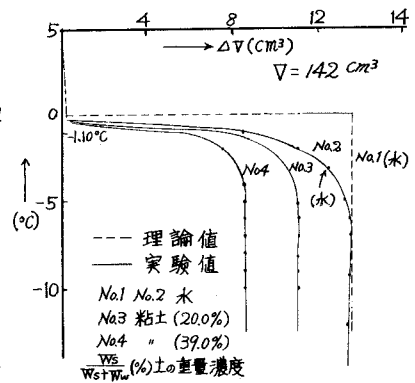


図-5

図-6 から明らかなことは、凍結による容積変化割合は、砂 > 粘土 > 関東ロームの順となっている。また、このグラフの縦軸は $\frac{\Delta V}{V_w}$ であるが、 V_w のなかの水を V_{wf} によるものと V_{wa} によるものとにわけて考える。土粒子の周囲の V_{wf} 水は過冷却温度を考えると約 -15°C で凍結するから -6°C 以下では V_w が全部 V_{wf} による水であるとすれば実線まで凍結していなければならない。即ち 9% 位の容積変化を起すはすである。しかるに砂質土では土の重量濃度 54% (含水率 4%) から土の濃度が増す毎に $\frac{\Delta V}{V_w}$ が小さくなり、粘土では重量濃度約 10% (含水率 90%)、ロームでは、2% (含水率 98%) より $\frac{\Delta V}{V_w}$ が小さくなる。この現象は砂が最も多く V_{wf} 水を持ち、粘土、ロームになるに従って V_{wa}

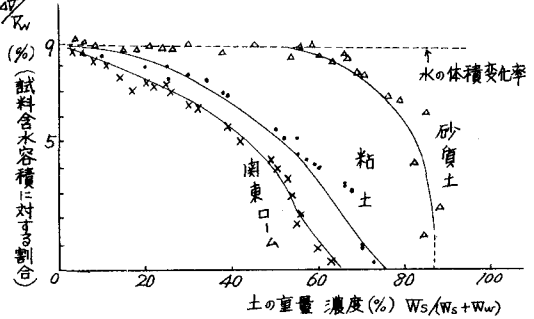


図-6

の量が増加することを示している。図-6 から容積変化に寄与しない水の量は V_w に対して、砂：13%、粘土：24%、ローム：34% である。いま、この水量と砂、粘土の比表面積を夫々 $0.03 \text{ m}^2/\text{g}$ 、 $0.33 \text{ m}^2/\text{g}$ とした値を用いて、この凍結に關係しないと考えられる水膜の厚さを計算すると、砂で約 5μ 、粘土で 1μ となる。

5. 凍結前後の強度変化

図-7 から明らかなように、凍結温度が低下するに従って直線的に増加する。この傾向は土中の含水量が多い方が上昇傾向がより大きい。凍結強度の大きさは砂質土 > 関東ローム > 粘土の順となっている。強度増加は吸着水が凍結する低温度 (-78°C 以下) まで続くと考えられる。凍結融解後の土の強度は凍結前に比較して、 γ_u, E (弾性係数) ともに低下の傾向があり、粘土は特にこの傾向が著しい。

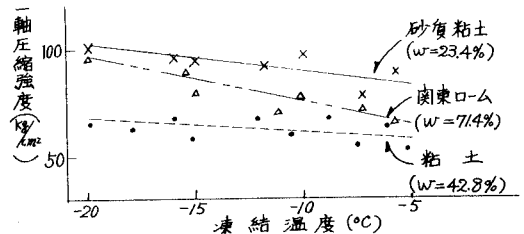


図-7

参考文献：1. C.A. Hogentogler Engineering Properties of Soil 1937. 2. A.R. Jumikis Thermal Soil Mechanics 1966.